

06 MAY 2004

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 13 MAY 2004	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 16 113.9

**Anmeldetag:** 09. April 2003

**Anmelder/Inhaber:** DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine  
mit Selbstzündung

**IPC:** F 02 D 41/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 22. April 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

**Agurke**

DaimlerChrysler AG

Aifan

07.04.2003

Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine  
mit Selbstzündung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine mit Selbstzündung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Ziel der Entwicklung von neuen Dieselmotoren ist es, den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren und Abgasemissionen, insbesondere die Stickoxid-Emissionen sowie die Rußpartikelbildung zu minimieren. Bei den modernen Brennkraftmaschinen mit Selbstzündung dient oft eine Abgasrückführung als Mittel zur Emissionssenkung, wobei eine Abgasrückführate lastpunktabhängig eingestellt wird.

Eine weitere Senkung der Stickoxid-Emissionen kann mittels eines SCR-Katalysators erzielt werden, in dem die Zugabe bzw. die Dosierung eines Reduktionsmittels, z.B. Ammoniak, proportional zu der Stickoxidentstehung in der Brennkraftmaschine vorgenommen wird. Die erforderlichen Sicherheitseinrichtungen lassen nur begrenzte Umsätze eines solchen SCR-Katalysators zwischen 60% und 70% zu, da die Stickoxid-Rohemissionen der Brennkraftmaschine nur aus bekannten Kennfeld-Daten ermittelt werden können. Derzeit befinden sich Sensoren zur direkten Messung der Stickoxid- oder Ammoniakkonzentrationen im Abgas noch im Forschungsstadium, da derzeit solche Sensoren noch zu ungenau oder extrem querempfindlich sind.

Die Kraftstoffwirtschaftlichkeit einer Brennkraftmaschine ergibt sich in der Regel nur indirekt aus den in der Motorsteu-

erung hinterlegten Motorkennfeldern für den jeweiligen Einspritzzeitpunkt. Es erfolgt dabei keine Rückmeldung bzw. eine Korrektur über den aktuellen Wirkungsgrad oder den Kraftstoffverbrauch der Brennkraftmaschine.

5

Aus der DE 197 34 494 C1 ist ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine bekannt, bei dem eine Rückführrate des Abgases auf Basis einer zweifachen Messung der Sauerstoffkonzentration im Abgas bzw. in der Ladeluft errechnet wird. Neben dem hohen messtechnischen Aufwand wird bei dieser Methode lediglich die Rückführrate des Abgases bestimmt.

10

Aus der DE 100 43 383 C2 ist ein Verfahren zur Bestimmung des Stickoxidgehalts in Abgasen von Brennkraftmaschinen bekannt, bei dem die der Brennkraftmaschine zugeführte Luftmasse erfasst wird, wobei aus mindestens einem aktuellen Messwert des Motorbetriebs eine Bestimmung des Schwerpunkts der Verbrennung erfolgt. Aus dem Wert für die Lage des Schwerpunkts der Verbrennung sowie den Werten der erfassten Kraftstoffmenge und Luftmasse werden die NOx-Rohemissionen berechnet.

15

20

Der Schwerpunkt der Verbrennung beschreibt auf Basis des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik jenen Zustand im Brennraum, bei dem 50% der eingebrachten Kraftstoffenergie umgewandelt wurde. Die Lage des Schwerpunkts ist die zugehörige Kurbelwinkelposition, d.h. eine Kurbelwinkelposition des Kolbens, bei der 50% der an der Verbrennung teilnehmenden Kraftstoffmenge in Wärme umgesetzt wurde.

25

Der erhebliche Aufwand zur gleichzeitigen Bestimmung von Luft, Kraftstoff und Abgasrückführraten ist nachteilig, da für die Berechnung des Schwerpunkts der Verbrennung ein nach dem Kurbelwinkel aufgelöster Brennraumdruckverlauf erforderlich ist, dessen messtechnische Bestimmung aufwendig ist.

30

35

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Regelung einer Brennkraftmaschine bereitzustellen, mit

dem ein verbrauchsoptimierter Betrieb der Brennkraftmaschine bei einer gleichzeitigen Senkung der NOx-Emissionen gewährleistet ist.

- 5 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass während eines Arbeitsspiels der Brennkraftmaschine eine  
10 Kraftstoffmenge betriebspunktabhängig zugemessen wird, wobei die zugemessene Kraftstoffmenge derart in den Brennraum eingespritzt wird, dass eine Lage des Schwerpunkts jeder Verbrennung unabhängig vom Betriebspunkt der Brennkraftmaschine bei einer vorgegebenen Kurbelwinkelposition liegt.

15

Gemäß der vorliegenden Erfindung steht der Wirkungsgrad der selbstzündenden Brennkraftmaschine in direktem Zusammenhang mit der Lage des Verbrennungsschwerpunkts. Hierbei werden die Motorparameter derart eingestellt, dass bei der jeweiligen  
20 Verbrennung bzw. bei jeder Verbrennung die Lage des Schwerpunkts unabhängig vom gefahrenen Betriebspunkt bei einer bestimmten Kurbelwinkelposition liegt. Diese kann für die jeweilige Brennkraftmaschine vor dem Betrieb der Brennkraftmaschine z.B. am Prüfstand ermittelt werden. Bei dieser für die  
25 jeweilige Brennkraftmaschine zuvor bestimmte Lage des Verbrennungsschwerpunkts wird ein maximaler Wirkungsgrad erzielt. Diese zuvor bestimmte Lage des Schwerpunkts soll dann möglichst über die gesamte Lebensdauer der Brennkraftmaschine beibehalten werden.

30

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird ein aktuelle Lage des Schwerpunkts der Verbrennung in Abhängigkeit von einem erfassten Druckverlauf im Brennraum bestimmt, wobei vorzugsweise der Druckverlauf im Brennraum mittels eines Sen-  
35 sors erfasst wird. Hierdurch wird eine exakte Ermittlung der

Lage des Schwerpunktes erzielt. Vorzugsweise wird hierzu der aktuelle Wert der Schwerpunktslage der Verbrennung mit Hilfe eines Rechenmodells ermittelt, wodurch der messtechnische Aufwand weiter reduziert werden kann.

5

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird der aktuelle Schwerpunkt der Verbrennung in Abhängigkeit von einer Kugelminkelposition bestimmt, bei der ein maximaler Zylinderdruck im Brennraum erfasst wird. Demnach wird die Schwerpunktslage der Verbrennung mit Hilfe eines empirischen Modells durch einen Zeitpunkt bestimmt, bei dem der maximale Druck im Zylinder, z.B. ein Zünddruck vorliegt. Gemäß der vorliegenden Erfindung hängt die Schwerpunktslage von der Kurbelminkelposition des im Brennraum maximal auftretenden Drucks ab. Hierdurch wird eine Bestimmung des Verbrennungsschwerpunktes wesentlich vereinfacht vorgenommen, da eine Verarbeitung bzw. detaillierte Auflösung des gesamten Zylinderdruckverlaufs im Brennraum nach dem Kurbelminkel während der Verbrennung entfällt.

20

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird der aktuelle Schwerpunkt der Verbrennung in Abhängigkeit von einer Kraftstoffeinspritzdauer, einem Kraftstoffeinspritzbeginn, einer Ladungsmasse im Brennraum und einer Drehzahl der Brennkraftmaschine ermittelt. Dabei kann die Ladungsmasse zur Vereinfachung aus den in der Motorsteuereinrichtung abgelegten Kennfeldern entnommen werden. Hierdurch wird die Bestimmung des Verbrennungsschwerpunktes über ein empirisches Modell weiter vereinfacht. Eine schnelle Berechnung bzw. Bestimmung der Lage des Schwerpunktes der Verbrennung kann somit ohne den Einsatz von aufwendigen Sensoren im Brennraum erzielt werden.

30

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird eine Abgasrückführmenge zur Einstellung einer definierten Sauerstoffkonzentration im Brennraum in Abhängigkeit von der Schwerpunktslage der Verbrennung eingestellt. Hierbei wird  
5 aus einer ermittelten NOx-Rohemission der Brennkraftmaschine die notwendige Abgasrückführrate errechnet und die Abgasrückführung solange geregelt, bis sich eine definierte Sauerstoffkonzentration im Brennraum ergibt. Vorzugsweise wird ein Sollwert der Sauerstoffkonzentration als ein konstanter Wert  
10 in einem Kennfeld der Brennkraftmaschine in der Motorsteuer-einrichtung hinterlegt.

In einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Lage des Schwerpunkts der Verbrennung mittels einer Vari-  
15 ation des Beginns der Selbstzündung und/oder mittels Variati-on der Kraftstoffeinspritzung eingestellt. Dadurch wird eine gezielte und schnelle Regelung der Brennkraftmaschine beim jeweiligen Lastpunkt erzielt, so dass die Brennkraftmaschine mit einem maximalen Wirkungsgrad bei reduzierter NOx-  
20 Rohemissionsbildung betrieben.

Weitere Merkmale und Merkmalskombinationen ergeben sich aus der Beschreibung. Konkrete Ausführungsbeispiele der Erfindung sind anhand der Zeichnungen vereinfacht dargestellt und in  
25 der nachfolgenden Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Querschnitt durch einen Zylinder einer di-  
rekteinspritzenden Brennkraftmaschine mit Selbst-  
zündung,

30

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Wirkungsgrad-  
verlaufs einer Brennkraftmaschine nach Fig. 1 in  
Abhängigkeit vor der Lage des Schwerpunkts der  
Verbrennung,

- Fig. 3 ein schematisches Diagramm der Lage des maximalen Zylinderdruckes der Brennkraftmaschine nach Fig. 1 in Abhängigkeit von der Lage des Schwerpunkts der Verbrennung,
- Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Vergleiches von zwei Berechnungsmethoden zur Ermittlung der Lage des Schwerpunkts der Verbrennung,
- Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Korrelation zwischen einer gemessenen Lage des Schwerpunktes und einer gemäß einem Modell errechneten Lage des Schwerpunktes,
- Fig. 6 eine schematische Darstellung eines Gastemperaturverlaufes im Brennraum einer Brennkraftmaschine gemäß Fig. 1 während der Verbrennung,
- Fig. 7 eine schematische Darstellung eines Zusammenhangs zwischen einem Gradienten der Gastemperatur und einer NO<sub>x</sub>-Rohemission einer Brennkraftmaschine gemäß Fig. 1,
- Fig. 8 eine schematische Darstellung der Maxima einer mittleren Gastemperatur im Brennraum in Abhängigkeit von einer momentanen NO<sub>x</sub>-Rohemission einer Brennkraftmaschine gemäß Fig. 1,
- Fig. 9 eine schematische Darstellung des Verlaufs einer NO<sub>x</sub>-Reduktionsrate in Abhängigkeit von einer Abgasrückführungsrate, und

Fig. 10 eine schematische Darstellung des Verlaufs einer NO<sub>x</sub>-Reduktionsrate in Abhängigkeit von einer Sauerstoffkonzentration der Verbrennungsluft einer Brennkraftmaschine gemäß Fig. 1.

5

In Fig. 1 ist ein Zylinderblock 1 einer selbstzündenden Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung im Querschnitt dargestellt. In einem Zylinder 2 ist ein Kolben 12 verschiebbar geführt, mit dessen Oberseite und einem Zylinderkopf 13 ein Brennraum 11 begrenzt ist. Ein Einlassventil 14 und ein Auslassventil 17 sind im Zylinderkopf 13 angeordnet, wobei durch das Einlassventil 14 dem Brennraum 11 die notwendige Verbrennungsluft über ein Saugrohr 15 zugeführt wird. Vorzugsweise wird die jeweilige Luftmasse durch einen Luftmassenmesser 16 erfasst, der über eine Leitung 22 mit einer Motorsteuereinrichtung 6 verbunden ist.

Durch das Auslassventil 17 gelangen Verbrennungsgase in eine Abgasleitung 18, die zu einer in der Zeichnung nicht dargestellten Abgasnachbehandlungseinrichtung führt. Diese weist insbesondere zur effektiven Senkung der NO<sub>x</sub>-Emissionen einen SCR-Katalysator auf. Weiterhin dient eine aus der Abgasleitung 18 abgezweigte Abgasrückführleitung 19 dazu, Verbrennungsgase in das Saugrohr 15 zurückzuführen. In dieser Abgasrückführleitung 19 befindet sich ein Durchflussmesser 20 zur Erfassung des rückgeführten Abgasdurchflusses und zur Einstellung der rückgeführten Abgasmenge. Die erfasste Menge des rückgeführten Abgases wird über eine Leitung 21 an die Motorsteuereinrichtung 6 übertragen.

30

Des Weiteren ist im Zylinderkopf 13 ein Drucksensor 3 im Brennraum 11 angeordnet, mit dem ein im Brennraum vorliegender Druck über eine Verbindungsleitung 4 an die Motorsteuereinrichtung 6 übertragen wird. Ein Kraftstoffeinspritzventil



25 ist weiterhin im Zylinderkopf 13 angeordnet, welches über eine Einspritzleitung 26 mit einer Einspritzpumpe 23 verbunden ist. Zwischen der Einspritzpumpe 23 und dem Kraftstoffeinspritzventil 25 ist eine Messvorrichtung 24 zur Kraftstoffmengenerfassung vorgesehen. Diese Kraftstoffmesseinrichtung 24 ist über eine elektrische Leitung 27 mit der Motorsteuereinrichtung 6 verbunden. Die Einspritzpumpe 23 ist ebenfalls mit der Motorsteuereinrichtung durch eine Steuerleitung 28 verbunden.

10

Das erfindungsgemäße Verfahren zielt darauf ab, die Brennkraftmaschine verbrauchsoptimiert mit einem hohen Wirkungsgrad und möglichst bei gleichzeitiger Minimierung der NOx-Emissionen zu betreiben. Erfindungsgemäß wird mittels des Kraftstoffeinspritzventils 25 eine betriebspunktabhängige Kraftstoffmenge in den Brennraum 11 eingebracht. Diese wird derart in den Brennraum 11 eingebracht, dass ein bestimmte Lage des Schwerpunkts bei jeder Verbrennung, d.h. unabhängig vom Betriebspunkt, bei einer konstanten und zuvor bestimmten Kurbelwinkelposition liegt. Bei dieser zuvor bestimmten und in Motorsteuereinrichtung 6 abgelegten Schwerpunktslage der Verbrennung (Soll-Schwerpunkt) liegt gemäß Fig. 2 ein verbrauchsoptimierter Betrieb der Brennkraftmaschine vor. Um den verbrauchsoptimierten Betrieb zu gewährleisten, wird eine aktuelle Schwerpunktslage der Verbrennung bestimmt und mit dem Soll-Schwerpunkt verglichen. Liegt eine Abweichung vor, dann werden notwendige Betriebsparameter solange verändert, bis die Lage der Verbrennung möglichst dem Soll-Schwerpunkt entspricht.

30

Da gemäß der vorliegenden Erfindung der Wirkungsgrad der selbstzündenden Brennkraftmaschine in direktem Zusammenhang mit der Lage des Verbrennungsschwerpunkts steht, werden die Motorparameter, insbesondere die Kraftstoffeinspritzparameter

wie Einspritzzeitpunkt, Einspritzdauer sowie Einspritztaktung derart eingestellt, dass bei der jeweiligen Verbrennung bzw. bei jeder Verbrennung die optimale Lage des Schwerpunkts vorliegt. Die optimale Lage der Verbrennung bzw. der Soll-Schwerpunkt der Verbrennung kann für die jeweilige Brennkraftmaschine z.B. am Prüfstand ermittelt werden. Dieser Soll-Wert wird dann für die jeweilige Brennkraftmaschine in der Motorsteuereinrichtung 6 abgelegt.

10 Die Einstellung der Schwerpunktslage bzw. die Anpassung des aktuellen Werts an den Soll-Wert kann mittels einer Variation des Beginns der Selbstzündung und/oder mittels der Variation der Kraftstoffeinspritzung erzielt werden. Dadurch wird eine gezielte und schnelle Regelung der Brennkraftmaschine beim  
15 jeweiligen Lastpunkt durchgeführt, so dass die Brennkraftmaschine mit einem hohen Wirkungsgrad betrieben wird. Wird beispielsweise die lastabhängige Kraftstoffmenge in Form einer Vor-, Haupt- und gegebenenfalls einer Nacheinspritzung in den Brennraum 11 eingebracht, dann können sowohl die Einspritz-  
20 zeitpunkte als auch die Kraftstoffmengenverhältnisse der jeweiligen Teilmengen variiert werden, um die Anpassung der aktuellen Schwerpunktslage der Verbrennung an den Soll-Wert zu erzielen. Weiterhin können die Kraftstoffeinspritzdrücke der Vor-, Haupt- und gegebenenfalls der Nacheinspritzung variiert  
25 werden.

Für die Bestimmung der Lage des Schwerpunkts sind unterschiedliche Methoden bekannt. Die klassische Berechnungsmethode basiert auf der Analyse des Zylinderdruckverlaufs der  
30 jeweiligen Verbrennung. Als Grundlage dient hierfür der erste Hauptsatz der Thermodynamik. Bei dieser Methode sind der Druckverlauf im Brennraum, die Volumenänderung, ein Modell für die Wandwärmeverluste und die Ladungsmasse zur Bestimmung der aktuellen Schwerpunktslage erforderlich.

Alternativ kann die Lage des Schwerpunkts aus dem Heizverlauf der Verbrennung ermittelt werden. Demnach ist eine temperaturabhängige Berechnung der inneren Energie bzw. des Polytro-  
penexponenten erforderlich. Dabei dient ebenfalls der erste  
5 Hauptsatz der Thermodynamik als Grundlage, wobei der Druckverlauf im Brennraum, die Volumenänderung und Ladungsmasse der jeweiligen Verbrennung bekannt sein müssen. Diese Methode kann als eine Online-Berechnung am Prüfstand oder am Motor in  
10 der Motorsteuereinrichtung durchgeführt werden. Diese Methode weist nur geringfügige Abweichungen von der ersten Berechnungsmethode auf.

Eine weitere Methode zur Bestimmung der Lage des Schwerpunkts  
15 kann erfindungsgemäß mit Hilfe eines empirischen Modells aus Einspritzdaten, wie Einspritzbeginn, Einspritzdauer, sowie Drehzahl der Brennkraftmaschine bei bekannter Ladungsmasse erfolgen, wobei die Ladungsmasse vorzugsweise in einem in der Motorsteuereinrichtung 6 abgelegten Kennfeld gespeichert ist.  
20 Die Schwerpunktslage in Kurbelwinkelgraden wird erfindungsgemäß primär durch die Daten des Einspritzbeginns, der eingespritzten Kraftstoffmenge bzw. Einspritzdauer sowie der Motordrehzahl bestimmt. Späte Einspritzbeginne, höhere Einspritzmengen und Drehzahlen bewirken eine Verschiebung der  
25 Schwerpunkt-Position weg von einem oberen Totpunkt OT in die Expansionsphase. Hinzu kommt ein schwach ausgeprägter Einfluss der Luftmasse im Zylinder 2.

Eine Berechnungsgleichung für die Lage des Schwerpunktes in  
30 Grad Kurbelwinkel lautet wie folgt:

$$SP = a_0 + a_1 \cdot SB + a_2 \cdot SD + a_3 \cdot t + a_4 \cdot m_{zy1} .$$

Dabei steht SP für die Lage des Schwerpunkts der Verbrennung, SB für den Einspritzbeginn, SD für die Einspritzdauer, t für  
35 die Zeitdauer je Arbeitsspiel,  $m_{zy1}$  für die Ladungsmasse. Die

Koeffizienten  $a_0$  bis  $a_4$  sind Modellkoeffizienten für die jeweilige Brennkraftmaschine. Die Qualität des Modells nach der o.g. Gleichung ist gemäß der Darstellung in Fig. 5 zu sehen, wo eine gute Korrelation zwischen der durch das Modell ermittelten Lage des Schwerpunktes und einer über den ersten Hauptsatz der Thermodynamik errechneten Lage des Schwerpunktes der Verbrennung zu sehen ist.

Mit Hilfe des im Brennraum 11 vorgesehenen Drucksensors 3 wird vorzugsweise ein Druckverlauf im Brennraum 11 während eines Arbeitsspiels erfasst und an die Motorsteuereinrichtung 6 weitergeleitet. Aus dem erfassten Druckverlauf kann die aktuelle Schwerpunktslage der Verbrennung bestimmt werden. Die Lage des Schwerpunkts ändert sich bezüglich des Kurbelwinkels bei Änderung des Verbrennungsverlaufes. Mit Hilfe des erfassten Druckverlaufes und der zugemessenen Kraftstoffmenge pro Arbeitsspiel wird ein Wirkungsgrad der Brennkraftmaschine mit Hilfe der Motorsteuereinrichtung 6 bestimmt, der in einem direkten Zusammenhang gemäß Fig. 2 mit der Lage des Schwerpunkts der Verbrennung steht. Hierbei kann der Schwerpunkt der Verbrennung aus der Indizierung des Zylinderdruckes in Kombination mit einer Messung der Kolbenposition im Brennraum über den ersten Hauptsatz der Thermodynamik berechnet werden.

Gemäß Fig. 2 soll bei der Brennkraftmaschine unabhängig vom Lastpunkt ein maximaler Wirkungsgrad bei einer bestimmten Lage des Schwerpunktes eingestellt werden. Hierbei ist es notwendig die Verbrennung derart zu regeln, dass die Lage des Schwerpunkts der Verbrennung bei der Kolbenposition liegt, bei der der maximale Wirkungsgrad erreicht wird, z.B. gemäß Fig. 2 bei  $5^\circ\text{KW}$  nach OT. Dies kann durchaus ein kleiner Bereich, d.h. ein Kurbelwinkelfenster sein, der durch die Motorsteuereinrichtung 6 angestrebt wird.

Alternativ kann die Kurbelwinkelposition eines maximalen Brennraumdruckes dazu dienen, die Schwerpunktslage der Verbrennung präzise und schnell zu bestimmen. Hierbei liegt gemäß Fig. 3 ein direkter empirischer Zusammenhang zwischen dem maximal auftretenden Brennraumdruck und der Lage des Schwerpunktes während eines Arbeitsspiels vor. Dabei kann die Schwerpunktslage vorzugsweise gemäß der Erfindung über ein empirisches Modell aus einem Zünddruck ermittelt werden. Hierfür werden der maximale Zylinderdruck und die dazugehörige Kurbelwinkelposition erfasst.

Weiterhin kann erfindungsgemäß mit Hilfe des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik aus dem Heizverlauf mit konstantem Polytropenexponent unter Einbeziehung des Druckverlaufs sowie der Volumenänderung die Lage des Schwerpunkts ermittelt werden, wobei hier die Erfassung der Luftmasse im Zylinder nicht benötigt wird. Gemäß Fig. 4 zeigt diese Methode ebenfalls eine gute Korrelation mit bisher bekannten Messmethoden.

Mit Hilfe der vorliegenden Erfindung kann ebenfalls die NOx-Rohemission der selbstzündenden Brennkraftmaschine bestimmt werden, so dass die Betriebsweise bzw. Einstellung der in Fig. 1 nicht dargestellten Abgasnachbehandlungseinrichtung optimiert wird. Erfindungsgemäß wird der Verlauf einer mittleren Gastemperatur im Brennraum 11 der Brennkraftmaschine ermittelt, so dass ein Gradient der Gastemperatur zu einer Kurbelwinkeländerung  $dT/d\phi$  in einem definierten Kurbelwinkelbereich gemäß Fig. 6 berechnet wird und daraus gemäß Fig. 7 eine NOx-Rohemission der Brennkraftmaschine ermittelt wird.

Der Gradient der Gastemperatur in einem definierten Kurbelwinkelbereich steht erfindungsgemäß in einem direkten Zusammenhang mit der NOx-Rohemission der Brennkraftmaschine. Somit wird eine Bestimmung der NOx-Rohemission der Brennkraftma-

schine beispielsweise zur Optimierung einer nachgeschalteten Abgasnachbehandlungseinrichtung präzise vorgenommen und auf einem schnellen Wege durchgeführt. In Fig. 8 ist der Zusammenhang zwischen der maximalen mittleren Gastemperatur im Brennraum und einer momentanen NOx-Rohemission der Brennkraftmaschine dargestellt. Bei entsprechender Regelung der Verbrennung kann demgemäss die Bildung der NOx-Emissionen während der Verbrennung minimiert werden. Dabei wird die dem Brennraum zugemessene Kraftstoffmasse solange geregelt, bis sich eine konstante Kurbelwinkelposition des Verbrennungsschwerpunktes ergibt.

In der Regel kann eine relative NOx-Reduktion durch eine Abgasrückführung bewerkstelligt werden. Demnach steht die relative NOx-Reduktion in direktem Zusammenhang mit der Sauerstoff-Konzentration der Zylinderladung. Je nach Lastpunkt der Brennkraftmaschine ergeben sich gemäß Fig. 9 beim heutigen Stand der Technik aus den gleichen Abgasrückführraten unterschiedliche prozentuale Stickoxid-Absenkungen. Im Gegensatz hierzu wird erfindungsgemäss die Sauerstoffkonzentration der Zylinderladung als eine Mess- bzw. Regelgröße verwendet. Demnach wird dann eine definierte Sauerstoff-Konzentration der Verbrennungsluft im Brennraum 11 eingestellt. Diese wird gemäß Fig. 10 gemessen bzw. als eine Stell- und Messgröße benutzt.

Die ermittelte NOx-Rohemission der Brennkraftmaschine aus einem Maximalwert der mittleren Gastemperatur im Brennraum gemäß Fig. 8 wird dann für eine angestrebte notwendige NOx-Reduktion herangezogen und daraus gemäß Fig. 10 eine Abgasrückführrate bestimmt. Die Abgasrückführmenge wird demnach derart geregelt, dass sich eine definierte Sauerstoffkonzentration im Einlasskanal 15 gemäß Fig. 10 einstellt. Dabei wird ein Sollwert einer Sauerstoffkonzentration vorzugsweise in

der Motorsteuereinrichtung 6 als ein Konstantwert in einem Kennfeld hinterlegt. Erfindungsgemäß dient hierzu der in Fig. 10 dargestellte Zusammenhang zwischen einer NOx-Reduktionsrate und einer Abgasrückführrate. Hierdurch wird die Abgasrückführmenge derart eingestellt, dass eine definierte Sauerstoffkonzentration in der angesaugten Luft im Ansaugkanal 15 vorliegt. Somit wird eine im Brennraum gebildete NOx-Emission reduziert und die dafür vorgesehene Abgasnachbehandlung optimiert, so dass in einem nachgeschalteten SCR-Katalysator z.B. die Zudosierung einer NH<sub>3</sub> Menge mit Hilfe der vorliegenden Erfindung optimal vorgenommen werden kann.

DaimlerChrysler AG

Aifan

07.04.2003

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer selbstzündenden Brennkraftmaschine mit einem Zylinder, in dem ein Brennraum zwischen einem Kolben und einem Zylinderkopf begrenzt ist, einer Motorsteuereinrichtung und einer Kraftstoffzufuhreinrichtung, bei dem
- während eines Arbeitsspiels eine Kraftstoffmenge betriebspunktabhängig zugemessen wird,
- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s
- die zugemessene Kraftstoffmenge derart in den Brennraum eingespritzt wird, dass
  - eine Lage des Schwerpunkts der Verbrennung unabhängig vom Betriebspunkt der Brennkraftmaschine bei einer bestimmten Kurbelwinkelposition liegt.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- dass eine aktuelle Lage des Schwerpunkts der Verbrennung in Abhängigkeit von einem erfassten Druckverlauf im Brennraum bestimmt wird, wobei vorzugsweise der Druckverlauf im Brennraum mittels eines Sensors erfasst wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- dass die aktuelle Lage des Schwerpunkts der Verbrennung in Abhängigkeit von einer Kurbelwinkelposition bestimmt wird, bei der ein maximaler Zylinderdruck im Brennraum erfasst wird.



4. Verfahren nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die aktuelle Lage des Schwerpunkts der Verbrennung  
in Abhängigkeit von einer Kraftstoffeinspritzdauer, ei-  
nem Kraftstoffeinspritzbeginn, einer Ladungsmasse im  
Brennraum und einer Drehzahl der Brennkraftmaschine er-  
mittelt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass eine Abgasrückführmenge zur Einstellung einer defi-  
nierten Sauerstoffkonzentration im Brennraum in Abhän-  
gigkeit vom Schwerpunkt der Verbrennung eingestellt  
wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Lage des Schwerpunkts der Verbrennung mittels  
Variation des Beginns der Selbstzündung oder mittels Va-  
riation der Kraftstoffeinspritzung eingestellt wird.

1/5

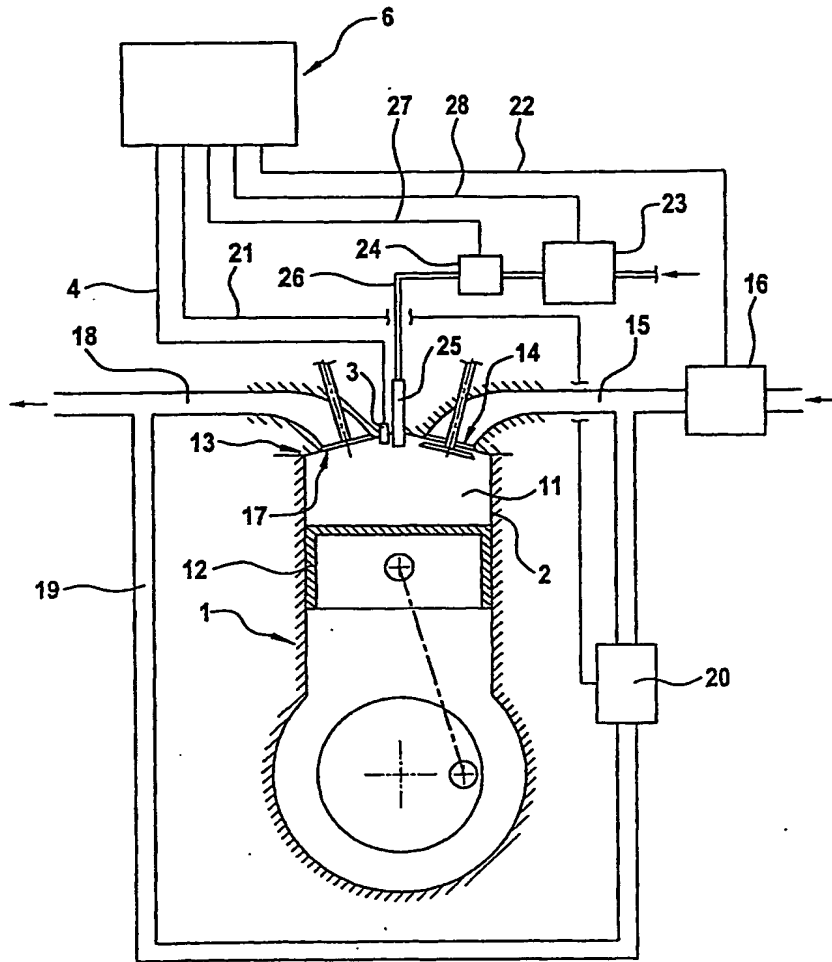


Fig. 1

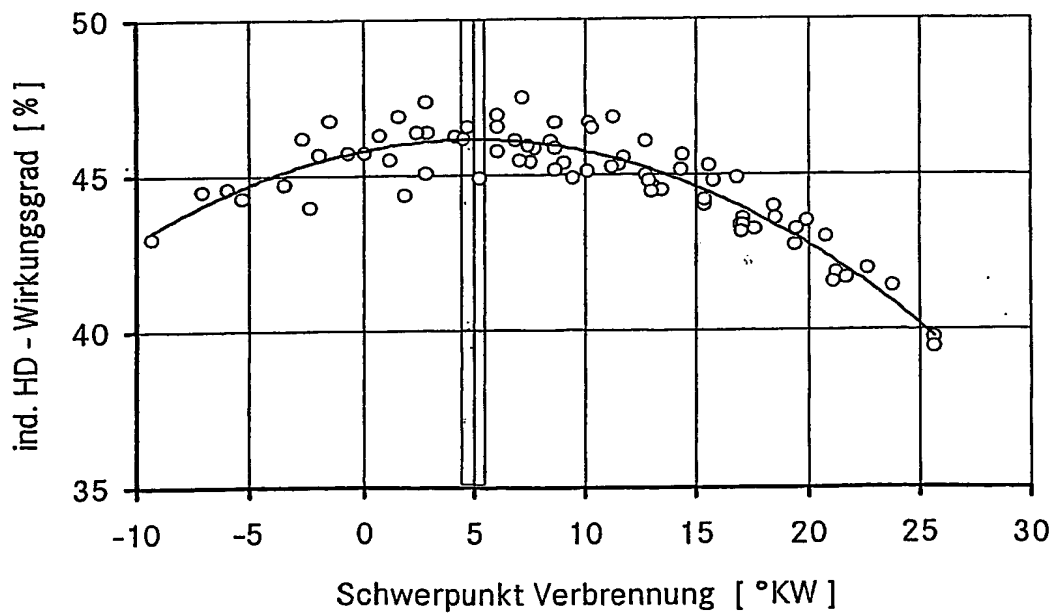


Fig. 2

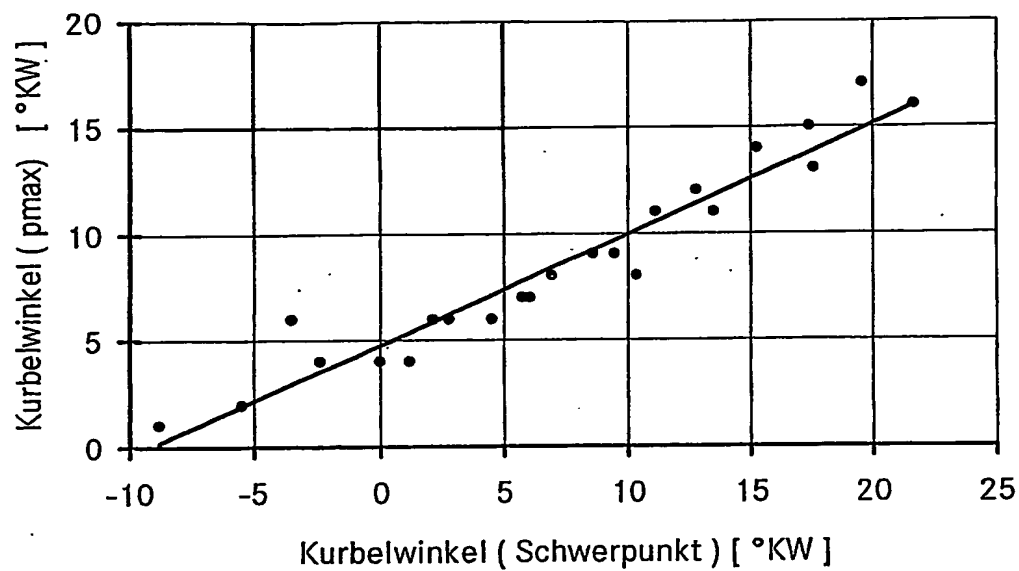


Fig. 3

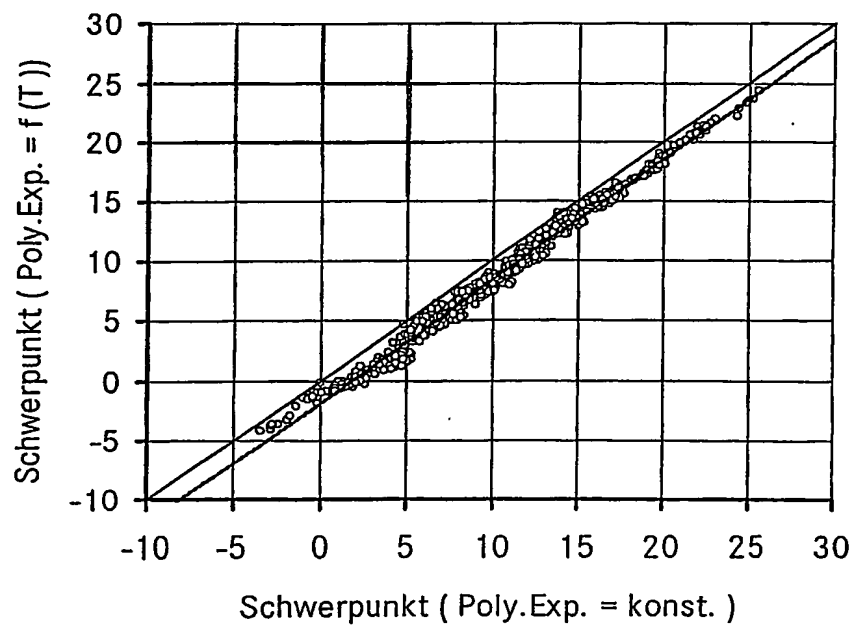


Fig. 4

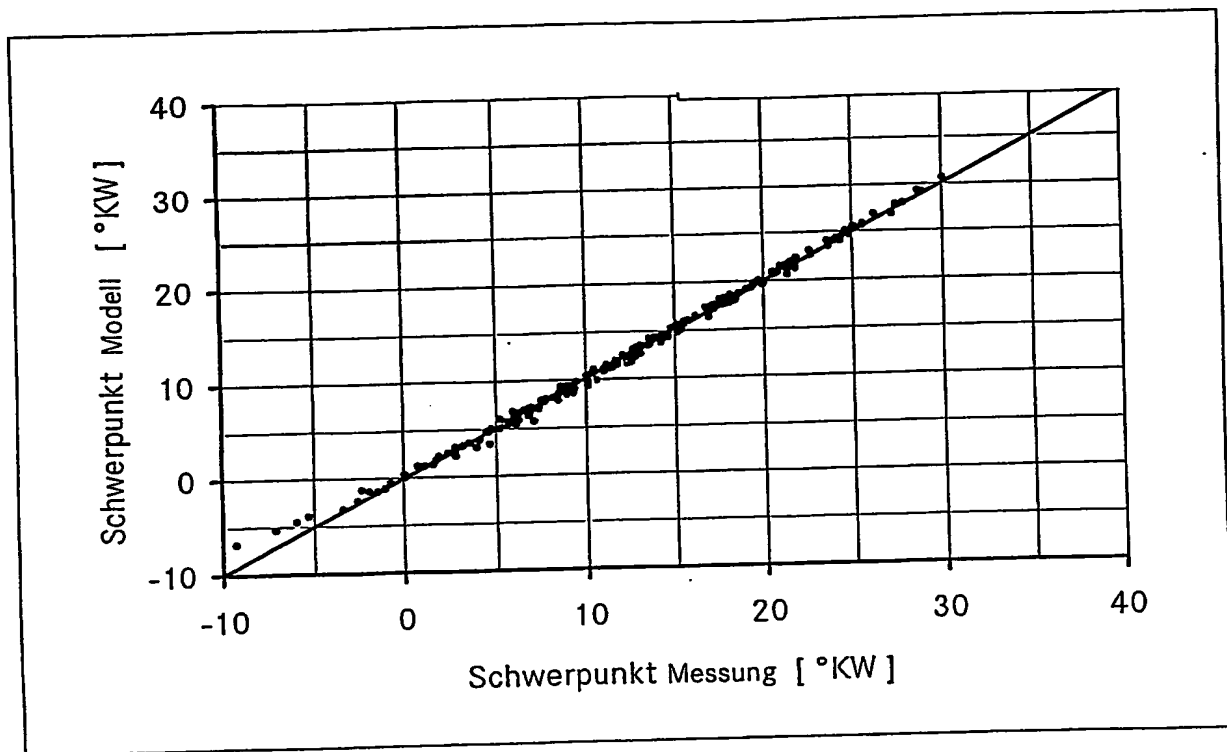


Fig. 5

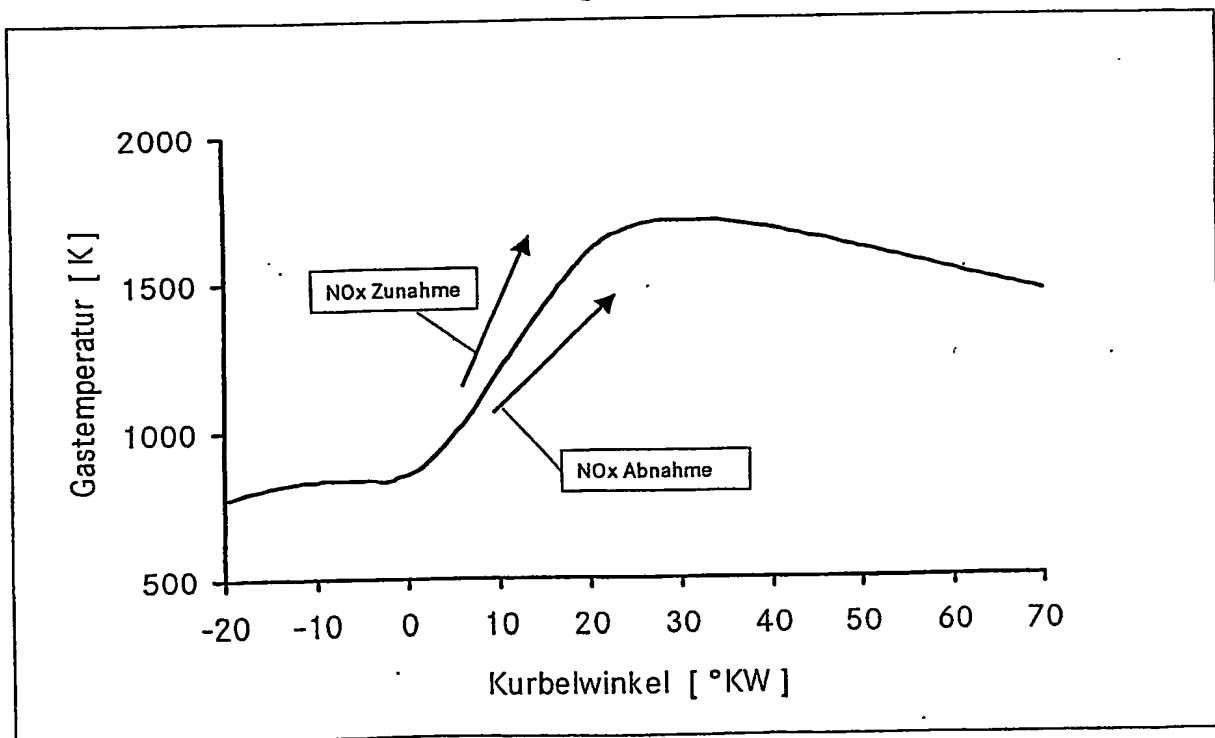


Fig. 6

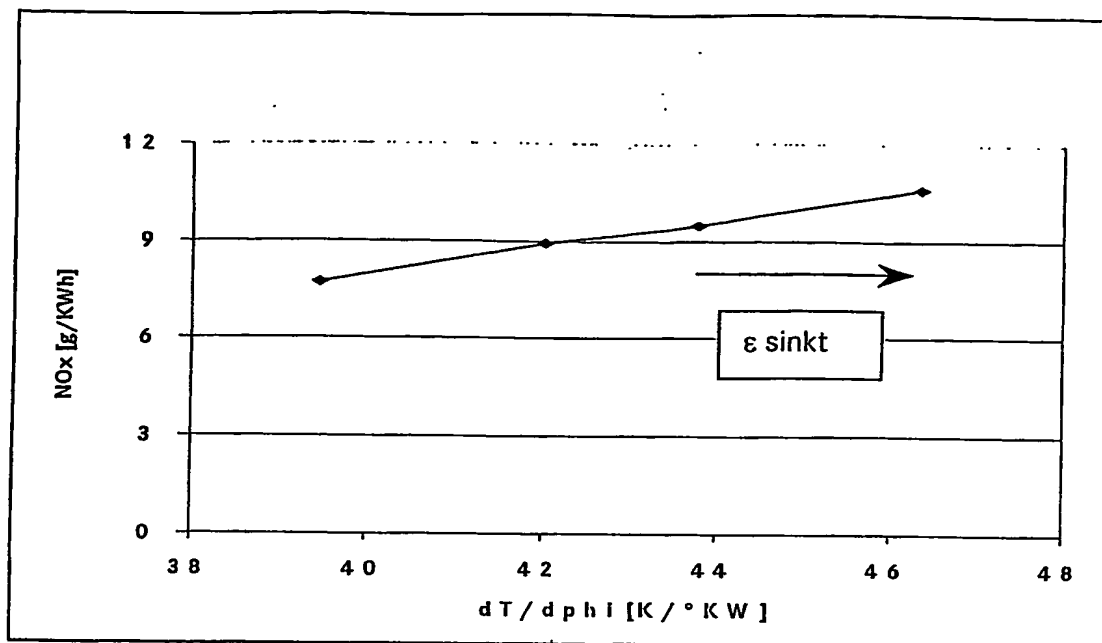


Fig. 7

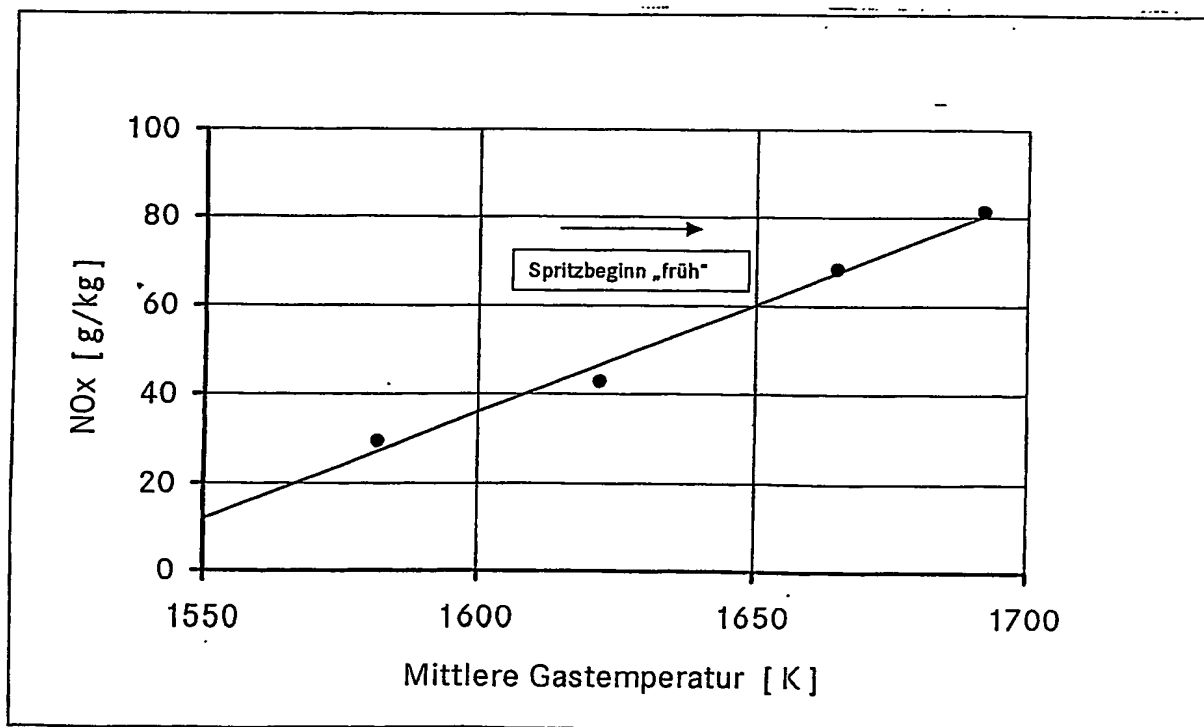


Fig. 8

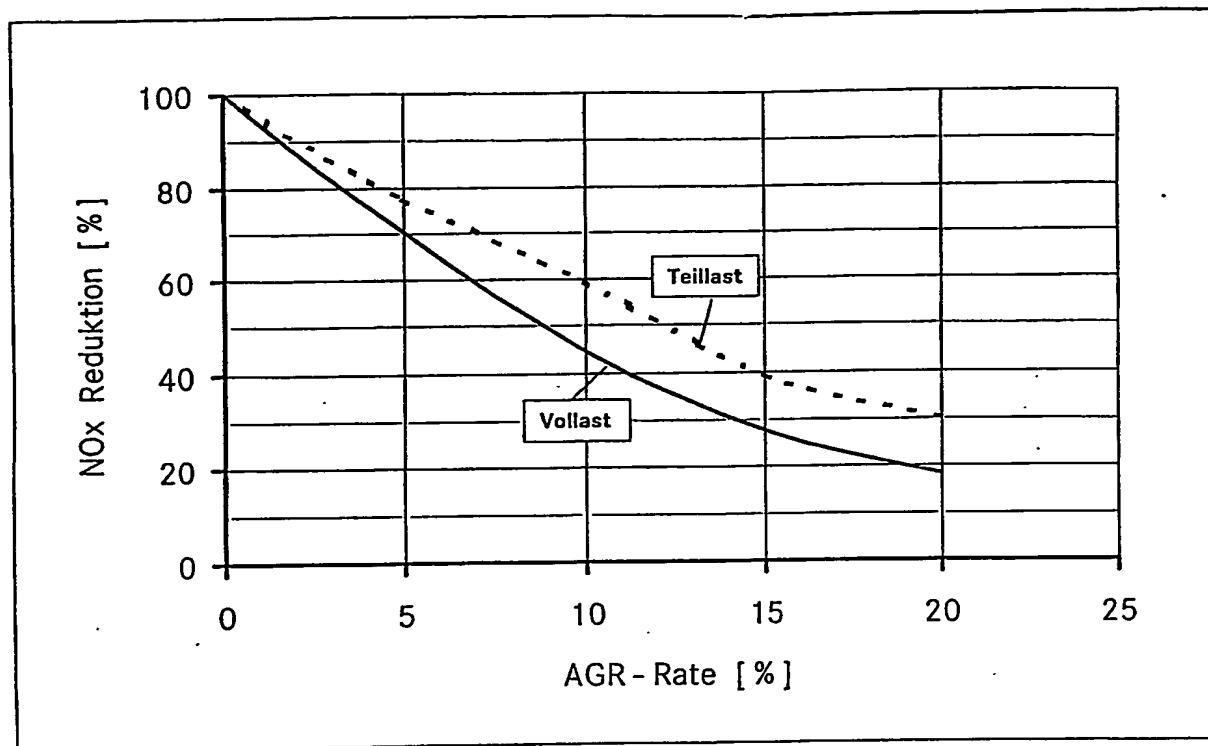


Fig. 9

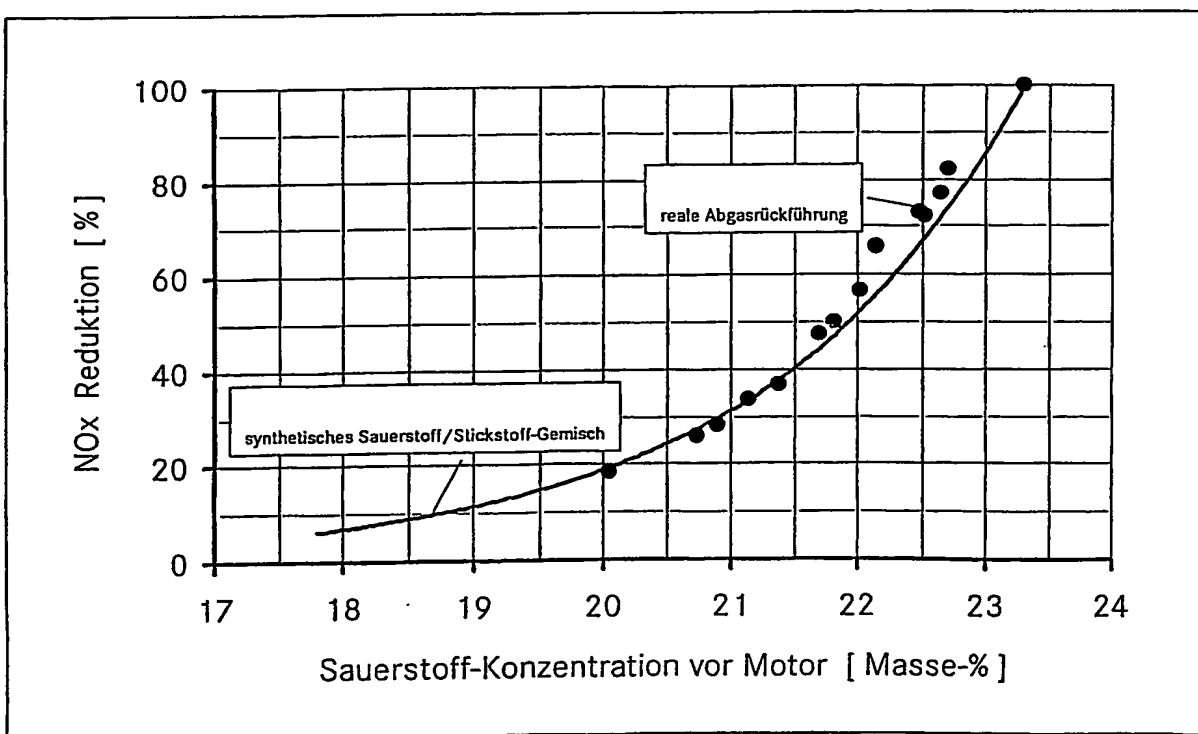


Fig. 10

DaimlerChrysler AG

Aifan

07.04.2003

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer selbstzündenden Brennkraftmaschine, bei dem eine zugemessene Kraftstoffmenge mittels der Motorsteuereinrichtung derart in den Brennraum eingespritzt wird, dass ein Schwerpunkt Verbrennung unabhängig vom Lastpunkt der Brennkraftmaschine bei einer konstanten und zuvor bestimmten Kurbelwinkelposition liegt. Hierbei wird der Schwerpunkt der Verbrennung mittels Variation der Kraftstoffeinspritzung eingestellt, wobei zur Ermittlung des Schwerpunkts der Verbrennung ein Druckverlauf im Brennraum mittels eines Sensors erfasst wird.